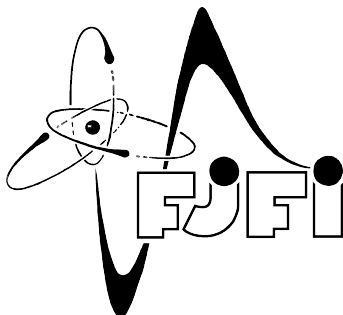


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
Katedra fyziky



Technical Design Report

Detektor doby letu

PPRA kolaborace
letní semestr 2013/2014

Pracovní skupina

Rozdělení experimentu

- Katarína Gajdošová - coincidence
- David Horák - návrh detekční části, simulace
- Kateřina Moudrá - návrh detekční části, simulace

Mluvčí projektu – David Horák

Koordinátor projektu – Katarína Gajdošová

Obsah

Úvod	1
1 Zostavení detektoru	2
1.1 Simulace světla ve scintilátorech a světlovodech	2
1.2 Oddělení signálu	2
2 Scintilační moduly	6
2.1 Scintilátor	6
2.2 Světlovod	7
2.3 Fotonásobič	7
3 Koincidence	9
3.1 Vyčítanie	10
Závěr	10
Literatura	11

Úvod

Našou úlohou bolo zostaviť detektor doby letu. Detektor doby letu funguje na základe merania času, za ktorý častica preletí danú vzdialenosť medzi dvoma detekčnými časťami detektoru. V tomto prípade detekčné jednotky pozostávajú z dvoch blokov scintilátorových plátov pripojených cez svetlovod na fotonásobič a ďalej na koincidenčný obvod. V scintilačnom materiáli sa energia deponovanej častice premení na svetelné žiarenie. Scintilačné fotóny sú potom svetlovodom odvedené niekoľkonásobnými odrazmi do fotonásobiča. Steny svetlovodu musia byť schopné totálne odraziť fotóny aby sa predišlo akýmkoľvek stratám a zozbieralo sa všetko scintilačné svetlo. Fotónásobič slúži na zosilnenie signálu prichádzajúceho zo scintilátoru. Funguje na princípe fotoefektu, kedy prichádzajúce fotóny vyrazia elektróny z materiálu fotodiody. Signál je následne zosilnený pomocou dynód, a vedený na anódu. Koincidenčný obvod je dôležitou súčasťou detektoru doby letu ktorá slúži na rozpoznanie preletu častice obidvomi scintilačnými jednotkami detektoru.

Na základe simulácií je očakávané zaznamenanie kozmických miónov o energii 4 GeV, pretože majú dostatok energie nato, aby vytvorili dostatočný svetelný výťažok v oboch scintilačných jednotkách detektoru, a zároveň sú to najčastejšie sa vyskytujúce častice na úrovni mora.

Koincidenziu je možné uskutočniť dvomi spôsobmi, a to pomocou osciloskopu alebo koincidenčných modulov. Sekvenčný trigger nutný pre koincidenziu má minimálny čas medzi dvomi signálmi na ktoré zameriaval len 4,44 ns, čo pre typ častíc ktoré budú detekované týmto detektorom nie je dostačujúce. Bude potreba použiť moduly schopné opozdiť signál o daný časový interval, ktorý je možné nastaviť podľa potrieb osciloskopu.

Kapitola 1

Zostavení detektoru

1.1 Simulace světla ve scintilátorech a světlovodech

Naším cílem dále bylo pochopit chování světla ve scintilátorech a světlovodech a navrhnout optimální tvar pro náš detektor. Důležitou vlastností optických materiálů je index lomu. Námi použitý scintilační materiál má index lomu 1,57.

Použitím programu ROOT jsme naprogramovali vlastní 2D Monte Carlo simulaci, jejíž ilustraci lze vidět na Obr. 1.1. V simulaci můžeme definovat tvar scintilačního materiálu i tvar světlovodu. Poté je nagenеровáno místo průletu částice (případně více částic) a vytvoří se pevný počet fotonů náhodně do všech směrů. Program pak zjišťuje, na kterou stěnu foton dopadá a podle nastaveného indexu lomu simuluje další směr či únik fotonu. Program dále umí spočítat kolik fotonů je registrováno v detektoru, vzdálenost, kterou jednotlivé fotony urazily, přepočítat ji na čas (rychlost fotonů je 30cm/ns) a zapsat do histogramu.

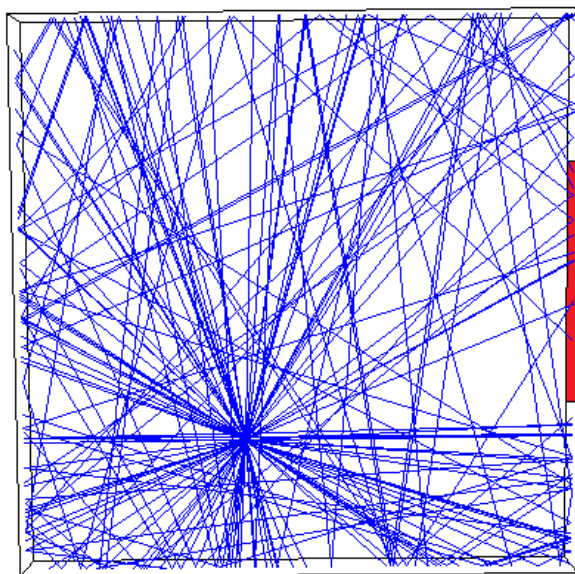
Nasimulovali jsme průchod světla pro rozměr scintilátoru 20 x 10 cm a světlovod o šířce 10 cm u scintilátoru a 4 cm u fotonásobiče pro různé délky 0 až 20 cm. Výsledek simulací je vidět na Obr. 1.2. Jak je vidět, nejlepších výsledků je dosaženo při použití světlovodu o délce 5 cm. Pro náš experiment jsme se proto rozhodli použít světlovod o délce 5 cm.

1.2 Oddělení signálu

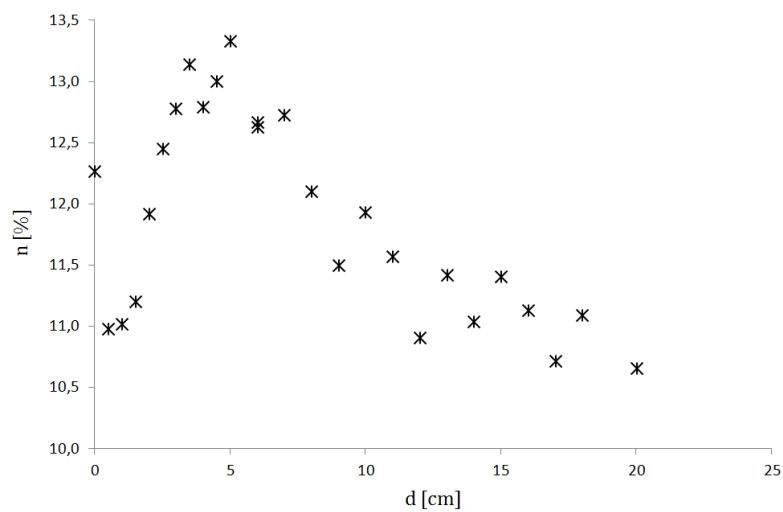
Jednou z charakteristik fotonásobičů je, že je na ně koaxiálním kabelem přivedeno stabilní vysoké napětí a při detekování signálu je tento signál superponován na napájecí napětí. Je proto potřeba zařízení, které bude tyto výchyly oddělovat a posílat k dalšímu zpracování, například do osciloskopu.

Na vyzkoušení funkčnosti fotonásobičů byl použit Semiconductor Detector Preamplifier Model 2004 od výrobce Canberra [3], který má integrován i zesilovač signálu. Ten není pro náš experiment nutný, a proto jsme se rozhodli zařízení upravit. Schéma zapojení přístroje je zobrazeno na Obr. 1.3. Pro naše potřeby stačilo zařízení upravit podle Obr. 1.4. Takto upravené zařízení bylo připojeno ke zdroji vysokého napětí Bertan Series 225 Model 03R, fotonásobiči a osciloskopu a otestována jeho funkčnost.

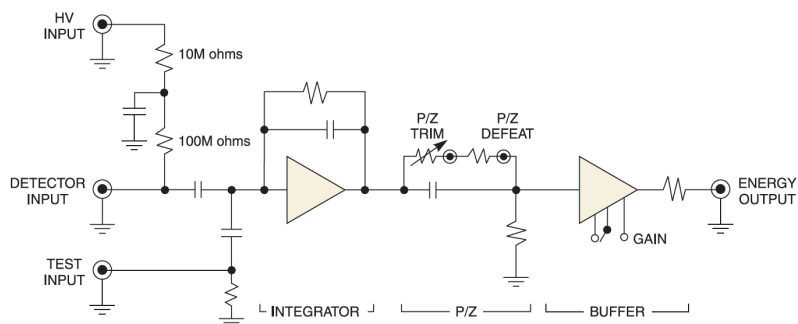
Dle schématu na Obr. 1.5 jsme vyrobili dvojici vlastních oddělovačů signálu. Výsledek je možno



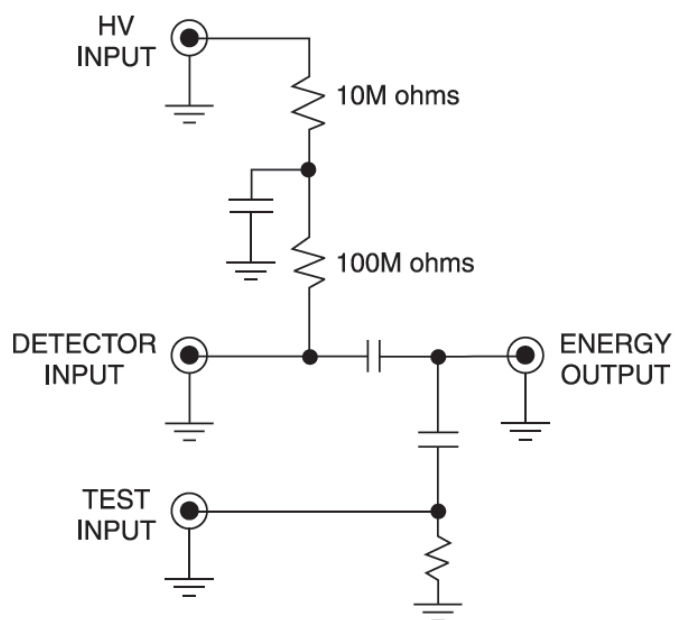
Obrázek 1.1: Ilustrace Monte Carlo simulace, modré čáry - fotony, červená plocha - fotonásobič.



Obrázek 1.2: Výsledek simulace průchodu světla světlovodem. Počet vygenerovaných fotonů zaregistrovaných fotonásobičem n v závislosti na délce světlovodu d .

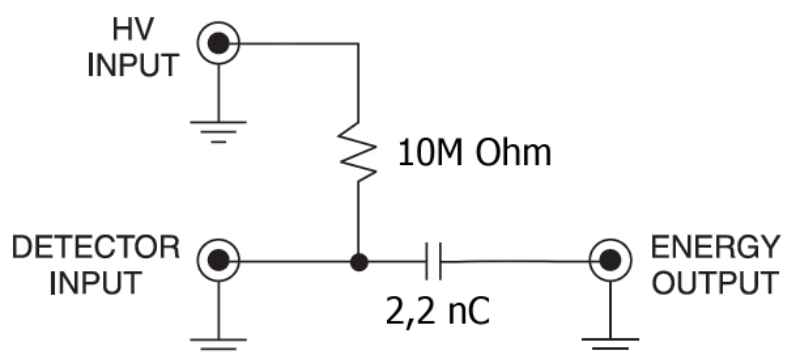


Obrázek 1.3: Schéma zapojení přístroje Canberra.



Obrázek 1.4: Schéma upraveného zapojení přístroje Canberra.

vidět na Obr. 1.6. Funkčnost obou zařízení byla otestována při napětí 1200V.



Obrázek 1.5: Schéma zapojení oddělovače signálu.



Obrázek 1.6: Fotografie vyrobených oddělovačů signálu.

Kapitola 2

Scintilační moduly

Detektor sestává ze dvou shodných scintilačních modulů. Jejich parametry budou popsány v této kapitole. Jeden scintilační modul sestává ze scintilátoru, světlovodu a fotonásobiče.

2.1 Scintilátor

Scintilační materiál volíme organický, z důvodu rychlé odezvy a možnosti opracování na požadovaný tvar. Konkrétně se jedná o polymethylmetakrylát od firmy Envinet [1]. Jeho parametry, uváděné výrobcem, jsou v tabulce na Obr.2.1.

Hustota	1,03 g/cm ³
Index lomu	1,57
Bod měknutí	70° C až 75° C
Světelný výkon	65 % (ve srovnání s antracemem)
Doba dosvitu	2,5 ns
Vlnová délka max.	vyzařování 420 až 440 nm

Obrázek 2.1: Parametry používaného scintilátoru.

Scintilátor má tvar kvádru a rozměry 10×2×20 cm³. Tvar a rozměry scintilátoru byly stanoveny simulacemi v programu Geant4 [5] a SLitrany [6], kde bylo mimo jiné požadováno, aby se prolétávající mion v detektoru nezastavil a zároveň emitoval dostatečný počet scintilačních fotonů. Více o těchto simulacích je možno nalézt v [2]. Tvaru scintilátoru bylo dosaženo mechanickým opracováním.

Aby scintilační fotony neunikaly ven ze scintilačního materiálu, je jeho povrch vyleštěn smirkovým papírem. Pro zlepšení odrazových vlastností je dále povrch ze všech stran (kromě strany napojované na světlovod) potažen alobalem.

2.2 Světlovod

Světlo ze scintilačního materiálu je do fotonásobiče přiváděno světlovodem z plexiskla od firmy AZ plastik [7] o rozměrech $10 \times 2 \times 5 \text{ cm}^3$. Index lomu světlovodu je 1,490. Rozměry světlovodu byly stanoveny pomocí simulací popsanych v sekci 1.1. Také světlovod má leštěný povrch, aby bylo na rozhraní se vzduchem dosaženo odrazu scintilačních fotonů.



Obrázek 2.2: Sestava scintilátor-světlovod-fotonásobič-patice po přelepení izolační páskou.

2.3 Fotonásobič

Drobné vzduchové mezery na rozhraní mezi scintilátorem a světlovodem, stejně jako na rozhraní mezi světlovodem a vstupním okénkem fotonásobiče by zhoršily vlastnosti aparatury (fotony by se před těmito mezerami odrazily a nedostaly by se dále do aparatury.) Propojení na styčných plochách



Obrázek 2.3: Jeden scintilační modul během testování odezvy.

je proto zajištěno silikonovou vazelínou o indexu lomu shodným s indexem lomu světlovodu.

Použitý fotonásobič je popsán v [2]. Oficiální dokumentaci lze dále nalézt na [8]. Výstup elektrického signálu z fotonásobiče a přívod napětí na deliče napětí je zajištěn na míru vyrobenou patičí od firmy Envinet [1].

Celá sestava scintilátor-světlovod-fotonásobič-patice je přelepena izolační páskou, aby byla odstíněna od paprsků viditelného světla, které by způsobovaly značný šum. Takto připravená sestava je vidět na Obr. 2.2.

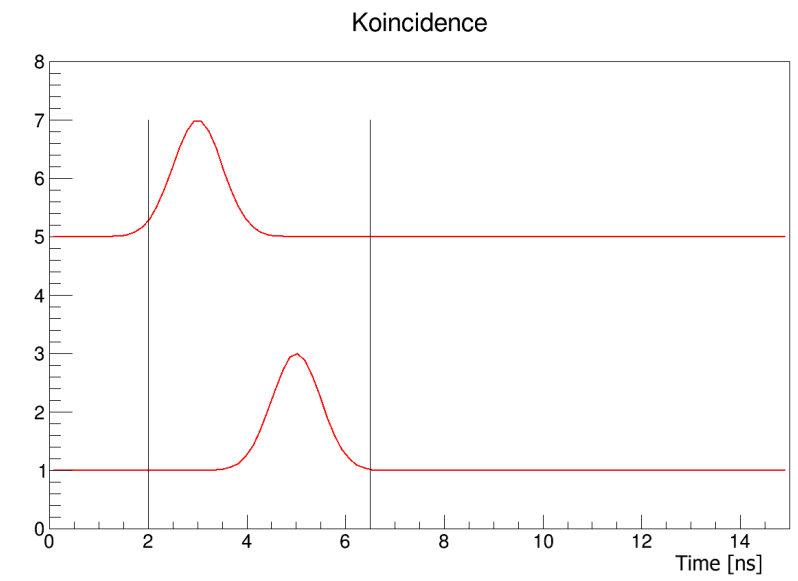
Obě aparatury byly zapojeny v obvodu se zesilovačem, zdrojem a osciloskopem a otestovány s pomocí emitujícího zdroje, viz Obr. 2.3.

Kapitola 3

Koincidencia

Dôležitou súčasťou detektoru doby letu je koincidenčný obvod. Koincidenčný obvod pozostáva z dvoch vstupov a jedného výstupu, pričom výstup je aktivovaný keď sú signály zo vstupov prijaté v rámci určitého krátkého časového intervalu, kedy sa ešte dá povedať, že dorazili v zhodnom čase. Výstup potom zaznamená, ako často boli dva vstupné signály prijaté naraz, teda máme frekvenciu triggeru.

Na obrázku Obr. 3.1 je znázornené ako funguje koincidencia. Dva príchodzie signály z dvoch rôznych vstupov sú v koincidenzii (zaznamenali sme ich v rámci určitého časového intervalu).



Obrázek 3.1: Ilustrácia koincidence.

Ako už bolo spomenuté vyššie, detektor doby letu sa skladá z dvoch scintilátorov vzdialených od seba na určitú vzdialenosť. Pri prelete častice detektorom doby letu vzniknú dva signály spôsobené

interakciou častice so scintilátormi. Pri vhodnom nastavení časového okna, kedy ešte uvažujeme, že sú signály v koincidenzii, určíme jednotlivé udalosti a časový rozdiel medzi príchodzimi signálmi.

Koincidenziu je možné previesť hlavne dvomi spôsobmi: pomocou osciloskopu alebo pomocou koincidenčných modulov. V prvom prípade je potrebné použiť tzv. Sequence Trigger. Sú dva spôsoby ako takýto trigger funguje:

- po zameraní sa na jednu udalosť v prvom vstupe trigger spustí až po určitom počte udalostí v druhom vstupe
- po zameraní sa na jednu udalosť v prvom vstupe trigger zatrigguje na druhý vstupný signál až po určitom časovom intervale

3.1 Vyčítanie

Presnosť vyčítania pulzov závisí na vlastnostiach osciloskopu a na časovej charakteristike fotonásobiča. Doba dosvitu základného typu plastového scintilátoru činí 2,5 ns, teda trvá 2,5 ns kým signál z jedného pulzu odoznie [1]. Digital Phosphor Oscilloscope Tektronix 4000 Series [9] je schopný zaznamenať 2,5 GS/s, v prepočte 2,5 bodu/ns. Pretože doba dosvitu scintilátoru je 2,5 ns, čiže sme schopní rozlíšiť 6,25 bodu daného signálu.

Častice prilietajúce z vesmíru majú približne rýchlosť svetla. Rýchlosť svetla pri prepočte na vhodné jednotky činí $c = 30$ cm/ns. Aby bolo možné dostať dva jasné signály pri prechode častice jedným a následne druhým scintilátorom, je potreba počkať kým pulz z fotonásobiča úplne odoznie. Keď uvažíme rýchlosť častíc rovnakú ako rýchlosť svetla a dobu dosvitu plastového scintilátoru, dva scintilátory vyššie diskutovaného detektoru doby letu musia byť od seba vzdialené aspoň 75 cm. Takáto vzdialenosť je príliš veľká. V priestore medzi scintilátormi častica môže stratiť dosť energie na to, aby v druhom scintilátore už nezanechala dostatočne viditeľnú stopu, alebo aby sa rozpadla na menej energetické častice pred tým ako dorazí do druhého scintilátoru.

Najkratší možný čas na zameranie medzi udalosťami v scintilátoroch je na osciloskope [9] 4,44 ns. Takýto časový rozostup medzi signálmi v scintilátoroch je príliš dlhý. Ak uvažujeme prelet častice s rýchlosťou svetla, vzdialenosť medzi scintilátormi by musela byť približne 120 cm, čo je už nepriaznivá hodnota pre účel merania na detektore doby letu.

Z vyššie diskutovaných bodov vyplýva, že koincidenčné zapojenie pomocou osciloskopu nie je vhodné pre konštrukciu detektoru doby letu. K dispozícii sú ďalšie možnosti, ako napríklad koincidenčný obvod pomocou modulov, ktoré oneskorovacím vedením umožňujú neskoršie vyčítanie signálu z druhého scintilátoru, čím by sa mohla predĺžiť doba po ktorej sa má sekvenčný trigger zopnúť, teda bude mať dosť času na vyhodnotenie koincidence dvoch príchodzích signálov.

Ponúkala sa možnosť použiť koincidenčný modul typu NIM Model 622 Quad 2-Fold Logic Unit [10]. Tento modul funguje na jednoduchom digitálnom základe. Ak modul zaznamená signál, na výstup pošle 1, inak máme na výstupe 0. Modul je možné nastaviť na dva základné typy vyčítania, a to AND alebo OR. V prvom prípade ak obidva vstupy zaznamenajú signál, na výstup sa pošle 1, inak 0. V druhom prípade bude na výstupe 1 vždy keď je zaznamenaný signál v ktoromkoľvek zo vstupov. Doba trvania výstupu je nastaviteľná, od 5 ns do 1 μ s, čo by bolo výhodné pri použití osciloskopu.

Väčšina času vyhradeného na zostavenie detektoru doby letu bola venovaná výrobe detekčných súčastí. Z toho dôvodu sa nepodarilo vyskúšať koincidenčný modul NIM Model 622 Quad 2-Fold Logic Unit [10].

Závěr

Detektor doby letu, ktorého návrh a postup zostavenia bol popísaný v texte, sa skladá z dvoch detekčných jednotiek pozostávajúcich z scintilujúceho materiálu a fotonásobiča, ďalej s obvodu privádzajúceho vysoké napätie do fotonásobiča, a nakoniec z koincidenčnej jednotky. Pomocou simulácií šírenia fotónov materiálom sa do návrhu detektoru zakomponoval svetlovod.

Podľa našich požiadavkov na tvar a vlastnosti scintilátoru, s ohľadom na rozmery a spektrálnu citlivosť bežne používaných fotonásobičov, bol zvolený organický scintilátor z polymethylmetakrylátu. Konečný tvar a rozmery scintilačných modulov bol upresnený na základe výpočtov a simulácií. Podľa programu Geant bolo jasné, že najvhodnejšie a najdostupnejšie častice ktoré je možné detekovať aparátúrou detektoru doby letu, sú kozmické mióny o energii 4 GeV.

Následne sme prešli ku samotnej konštrukcii detektoru doby letu. Najprv bol zostavený obvod, ktorý privádza vysoké napätie do fotonásobiča a zároveň oddeľuje výchylky v signále a posiela ich na ďalšie spracovanie. Nakoniec boli úspešne dokončené dva rovnaké obvody, oboje otestované pri napätí 1200 V.

Následovalo zostavenie detekčných jednotiek. Pláty scintilátoru a svetlovodu boli vytvarované do konečnej podoby ručným opracovaním. Svetlovod bol na okienko fotonásobiča pripojený silikónovou vazelou s rovnakých indexom lomu ako mal svetlovod. Materiály citlivé na svetlo boli obalené v alobale a čiernej páske neprepúšťajúcej svetlo a nakoniec bol celý detekčný modul fixovaný v kartónovom obale.

Detektor bol použitý ako čítač kozmických miónov. Pri tejto konfigurácii bol zapojený osciloskop s dvomi vstupmi, každý pochádzajúci z inej detekčnej jednotky. Signály boli zobrazené na obrazovke naraz. Jednoduchým pozorovaním oboch signálov bolo možné určiť kedy detektor zaznamenal mión. Signál príchodzieho miónu bol viditeľne odlíšený od pozadia tvoreného prevažne fotónami. V momente kedy sa na obidvoch vstupoch zaznamenali výrazné signály, znamenalo to prelet miónu. Jeden prelet miónu je zaznamenaný na Obr. 3.2. Udalosť je možné pozorovať na obrazovke osciloskopu. Nakoniec bolo otestované, či naozaj vyššie popísané signály reprezentujú prelet kozmického miónu. To bolo dosiahnuté jednoduchým vzájomným posunutím jednotlivých detekčných jednotiek. Pozoroval sa výrazne menší podiel zhodne zaznamenaných signálov. Ak sa predsa len taká zhoda objavila, znamenalo to vzácny prelet miónu so šikmou trajektóriou.

Z dôvodu časovej tiesne nebolo možné vyskúšať koincidenčný modul NIM Model 622 Quad 2-Fold Logic Unit.



Obrázek 3.2: Fotka aparatury detektoru. Na obrazovce osciloskopu je zaznamenaný prelet kozmického miónu.

Literatura

- [1] Envinet, www.envinet.cz [online] [cit. 2014-02-26]
- [2] Gajdošová, Moudrá, Horák, Conceptual Design Report, http://physics.fjfi.cvut.cz/files/predmety/02PPRA/Docs/cdr_2013-14.pdf [online] [cit. 2014-08-25]
- [3] CANBERRA, http://www.canberra.com/products/radiochemistry_lab/nim-preamplifiers.asp [online] [cit. 2014-08-27]
- [4] GM electronic, www.gme.cz [online] [cit. 2014-08-27]
- [5] Geant4, <http://www.geant4.cern.ch> [online] [cit. 2014-08-28]
- [6] SLitrany, <http://gentitfx.fr/SLitrani/> [online] [cit. 2014-08-28]
- [7] AZ plastik, <http://www.az-plastik.cz> [online] [cit. 2014-08-28]
- [8] Photomultiplier, <http://ebay.hofstragroup.com/2596.pdf> [online] [cit. 2014-08-28]
- [9] Digital Phosphor Oscilloscopes User Manual, <http://www3.imperial.ac.uk/pls/portallive/discretionary{-}{-}{-}/docs/1/7293027.PDF> [online] [cit. 2014-02-26]
- [10] Technical Data LeCroy, http://sites.fas.harvard.edu/~phys191r/Bench_Notes/B4/Lecroy622.pdf [online] [cit. 2014-08-25]